

Pengembangan dan Evaluasi Model Prediksi Sekuensial pada Industri Pengolahan Feronikel Berbasis Machine Learning = Development and Evaluation of Sequential Prediction Models in the Ferronickel Processing Industry Based on Machine Learning

Albertus Timothy Gunawan, author

Deskripsi Lengkap: <https://lib.ui.ac.id/detail?id=9999920571327&lokasi=lokal>

Abstrak

Industri pengolahan feronikel menghadapi tantangan kompleksitas proses, efisiensi energi, dan variabilitas kualitas produk, yang sebagian besar masih dikelola secara manual. Pada praktiknya, kontrol proses ini masih mengandalkan intuisi dan pengalaman operator untuk melakukan penyesuaian parameter. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi model prediksi sekuensial berbasis machine learning (ML) untuk mesin rotary kiln (RK) dan electric furnace (EF), guna meningkatkan akurasi prediksi dan interpretabilitas dalam optimasi proses. Data historis operasional digunakan dan melalui tahap pra-pemrosesan yang termasuk imputasi missing value dengan Random Forest Imputation dan penanganan outlier dengan Local Winsorizing, yang terbukti signifikan dalam meningkatkan stabilitas data dan performa model. Model prediksi dikembangkan dalam arsitektur dua tahap, di mana keluaran prediksi dari model RK menjadi masukan bagi model EF. Evaluasi komprehensif terhadap berbagai algoritma ML menunjukkan bahwa Support Vector Regressor (SVR) optimal untuk prediksi RK dan XGBoost unggul untuk prediksi EF, secara konsisten menghasilkan error prediksi terendah. Secara spesifik, pada prediksi suhu kalsinasi (t kalsin), model SVR mencapai nilai MAE 27.74, MSE 1288.59, dan RMSE 35.90. Sementara itu, pada prediksi suhu logam akhir (metal temp), model XGBoost mencapai nilai MAE 9.91, MSE 239.50, dan RMSE 15.48. Analisis sensitivitas lebih lanjut mengonfirmasi bahwa propagasi kesalahan dalam pipeline sekuensial dapat diminimalisasi, yang dibuktikan dengan perbedaan MAE rata-rata antara penggunaan input aktual dan prediksi RK yang kurang dari 0.005 untuk sebagian besar variabel output EF. Melalui analisis Explainable AI (SHAP), fitur-fitur dominan yang memengaruhi proses diidentifikasi, sekaligus mengungkap interaksi non-linear yang krusial untuk pemahaman dinamika proses. Secara keseluruhan, model yang dikembangkan menunjukkan akurasi, robustness, dan interpretabilitas tinggi, menjadikannya solusi yang layak untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data di industri pengolahan feronikel yang kompleks dan dinamis.

.....The ferronickel processing industry faces challenges related to process complexity, energy efficiency, and product quality variability, which are still largely managed manually. In practice, process control relies heavily on operator intuition and experience for parameter adjustments. This study aims to develop and evaluate a sequential prediction model based on machine learning (ML) for the rotary kiln (RK) and electric furnace (EF) machines to enhance prediction accuracy and interpretability for process optimization. Historical operational data were used and subjected to a pre-processing stage that included missing value imputation with Random Forest Imputation and outlier handling with Local Winsorizing, which proved significant in improving data stability and model performance. The prediction model was developed in a two-stage architecture, where the predicted output from the RK model serves as an input for the EF model. A comprehensive evaluation of various ML algorithms showed that Support Vector Regressor (SVR) is optimal for RK prediction and XGBoost excels for EF prediction, consistently yielding the lowest prediction

errors. Specifically, for calcine temperature prediction (t kalsin), the SVR model achieved an MAE of 27.74, MSE of 1288.59, and RMSE of 35.90. Meanwhile, for final metal temperature prediction (metal temp), the XGBoost model achieved an MAE of 9.91, MSE of 239.50, and RMSE of 15.48. Further sensitivity analysis confirmed that error propagation in the sequential pipeline can be minimized, as evidenced by a mean absolute error difference of less than 0.005 for most EF output variables between using actual and predicted RK inputs. Through Explainable AI (SHAP) analysis, dominant features influencing the process were identified, while also uncovering crucial non-linear interactions for understanding process dynamics. Overall, the developed models demonstrate high accuracy, robustness, and interpretability, making them a viable solution to support data-driven decision-making in the complex and dynamic ferronickel processing industry.